

## PENGARUH GARAM NaCl TERHADAP KINERJA PROSES BIOLOGIS ANAEROBIK

Oleh : I k b a l

Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih Dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian Dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT

### ABSTRAK

*Anaerobic treatment of synthetic wastewater with a high NaCl content was investigated for its effect on the process. The synthetic wastewater, including NaCl up to 40 g/l, was treated anaerobically by draw-and-fill method at a treatment temperature of 37°C and volumetric loading of rate TOC of 1 g/l/d. TOC removal efficiency and rate of gas evolution rate gradually decreased as salt content increased, although stable operation was maintained. TOC removal efficiency remained high at concentration of NaCl up to 20 g/l, although it fell to 82 % at 30 g NaCl/l. The gas yield at 10, 20 and 30 g NaCl/l were 1.35; 1.10 and 1.00 l/g-TOC loaded, which corresponded to 96; 83 and 78% of that without NaCl, respectively. The content of methane in the evolved gas was 50 to 55% throughout the experiment. Stable operation could not be maintained at 40 g NaCl/l since the TOC removal efficiency gradually decreased with the rapid increased in levels of volatile fatty acids*

**Kata kunci** : fermentasi metana, garam NaCl, konduktifitas, asam-asam organik, biogas

### 1. PENDAHULUAN

Proses biologis anaerobik atau fermentasi metana adalah cara pengolahan limbah yang sudah cukup lama dikenal dan ekonomis. Pada awal tahun 1900, proses ini sudah diaplikasikan di Inggris untuk mengolah lumpur organik yang berasal dari kolam pengendap pada unit pengolahan limbah cair domestik<sup>1)</sup>. Selanjutnya proses ini dikembangkan untuk mengolah limbah cair industri, khususnya yang mempunyai polutan organik tinggi. Dibandingkan dengan biologi aerobik, proses anaerobik mempunyai beberapa keunggulan, diantaranya;

1. Hemat energi. Pada pengolahan anaerobik, proses penguraian polutan-polutan organik oleh mikroba berlangsung pada kondisi tanpa udara, sehingga tidak diperlukan energi untuk mensuplai udara.
2. Menghasilkan biogas (gas metana). Salah satu produk akhir hasil penguraian polutan organik adalah gas metana (CH<sub>4</sub>) yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar gas.
3. Mampu mengolah limbah organik berkonsentrasi tinggi, yaitu sampai BOD<sub>5</sub> 80.000 mg/l<sup>2)</sup>.
4. Lumpur organik (surplus sludge) yang dihasilkan lebih sedikit dan dengan mudah dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik (kompos).

Selanjutnya, untuk memperluas bidang operasional pengolahan biologi anaerobik,

proses ini kemudian dikembangkan lagi untuk mengolah limbah-limbah organik yang mempunyai karakteristik khusus. Misalnya, Kamagata dkk.<sup>3)</sup> melakukan

penelitian pengolahan limbah senyawa benzoat. Fukuzaki dkk.<sup>4)</sup> meneliti pengaruh senyawa propionat dan Wang dkk.<sup>5)</sup> meneliti pengaruh senyawa phenol terhadap kinerja proses fermentasi metana. Penelitian pengolahan limbah industri pulp yang mengandung senyawa methanol dilakukan oleh Minami dkk.<sup>6)</sup>. Kemudian Ikbal dkk.<sup>7)</sup> meneliti pengaruh pH, nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sulfida (S<sup>2-</sup>), propionat dan asetat terhadap aktivitas mikroba pembentuk gas metana (methanogenic activity). Mereka juga melaporkan bahwa konsentrasi NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dalam bioreactor sebesar 2.000 mg/l pada pH 8 akan mengurangi produksi biogas sebanyak 40%. Kemudian untuk meningkatkan kinerja proses anaerobik, Ikbal dkk.<sup>7)</sup> meneliti pengaruh penambahan logam Co<sup>2+</sup> dan Ni<sup>2+</sup>, dan menyimpulkan bahwa penambahan masing-masing logam diatas sampai konsentrasi 10 mg/l kedalam air limbah akan meningkatkan aktivitas mikroba pembentuk gas metana yang ditandai dengan bertambahnya produksi biogas.

Meskipun penelitian untuk meningkatkan kinerja proses biologi anaerobik telah banyak dilakukan, tetapi informasi tentang pengaruh garam NaCl terhadap proses belum begitu memadai, pada hal seperti diketahui garam NaCl cukup banyak terdapat didalam air limbah.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh konsentrasi NaCl terhadap kinerja

proses anaerobik, serta untuk mengetahui konsentrasi NaCl maksimum didalam air limbah yang masih bisa ditolerir.

## 2. BAHAN DAN METODA

### 2.1 Air Limbah

Komposisi air limbah sintesis yang digunakan adalah sebagai berikut (g/l). Glukosa, 35; corn steep liquor, 35;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 2;  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 5;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 3; dan  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 1. Glukosa dan corn steep liquor (hasil samping pada industri pengolahan jagung) digunakan sebagai sumber senyawa karbon. Untuk melihat pengaruh garam NaCl terhadap kinerja proses, kedalam limbah sintesis ditambahkan NaCl padat sampai diperoleh beberapa buah konsentrasi yang diinginkan. Kandungan organik (organic matter) dan konsentrasi TOC (total organik karbon) limbah sintesis masing-masing adalah 50.000 dan 18.800 mg/l.

### 2.2 Mikroba

Mikroba anaerobik yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari unit pengolahan lumpur organik limbah domestik. Sebelum digunakan, mikroba diaktifkan atau diaklimatisasi selama beberapa bulan di laboratorium.

### 2.3 Peralatan penelitian

Gambar 1 adalah rangkaian peralatan yang digunakan untuk penelitian. Sebagai bioreaktor dipakai empat buah botol gelas bermulut lebar (reaktor 1, 2, 3 dan 4), dengan volume kerja masing-masing 400 ml. Botol dilengkapi dengan penutup karet yang diberi dua buah lobang. Satu lobang untuk aliran biogas ke tempat penampung (gas holder) dan satu lagi untuk tempat sampling. Mula-mula kedalam masing-masing botol dimasukkan kultur mikroba sebanyak 400 ml, kemudian botol ditutup rapat. Biogas yang terbentuk selama proses berlangsung mengalir ke tempat penampung gas. Botol-botol dimasukkan kedalam wadah air pemanas (water bath) yang dilengkapi dengan alat pengontrol suhu. Selama penelitian suhu dipertahankan pada  $37^\circ\text{C}$ , kecepatan pengadukan 300 rpm. Mula-mula kultur mikroba dalam bioreaktor diaklimatisasi dengan limbah sintesis tanpa NaCl selama 2 minggu pada beban organik 1 g/l/d dengan cara draw-and-fill, yaitu cairan didalam bioreaktor diambil sejumlah tertentu, kemudian limbah segar dalam jumlah yang sama dimasukkan kedalam bioreaktor. Aklimatisasi adalah proses pengadaptasian atau penyesuaian mikroba dengan kondisi lingkungan dan makanannya. Setelah 2 minggu, kemudian

proses aklimatisasi dilanjutkan dengan limbah sintesis yang mengandung garam NaCl pada 4 macam konsentrasi (40, 60, 85 dan 140 g/l) sampai nilai konduktifitas cairan didalam bioreaktor sama dengan nilai konduktifitas garam NaCl pada konsentrasi yang akan diteliti (10, 20, 30 dan 40 g/l).

### 2.4 Analisa

Semua parameter, kecuali pH dan konduktifitas, yang dianalisa adalah supernatannya. Supernatan dipisahkan dari padatan dengan alat sentrifugator (MLX-150, TOMY, Tokyo) yang dioperasikan pada kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit. TOC (total organic carbon) diukur menggunakan TOC autoanalyzer (TOC-500; Shimadzu, Kyoto). Asam-asam organik bermolekul rendah (volatile fatty acids/VFA) dianalisa dengan metoda post-label method. Asam-asam organik dalam limbah direaksikan dengan larutan bromothymol blue, kemudian diukur pada gelombang 450 nm dengan alat detektor (detector model 870-UV; Japan Spectroscopic Co. Ltd., Kyoto) setelah asam-asam organik dalam limbah difraksinasi dengan HPLC (high-performance liquid chromatography/ 880-PU, 860-CO; Japan Spectroscopic Co. Ltd.) menggunakan kolom (Shim-pack SCR-101H; Shimadzu, Kyoto). pH cairan diukur dengan pH meter (HM-25G, DKK-TOA, Co., Tokyo). Konduktifitas diukur dengan alat conductivity meter (AOL-40; Denki Kagaku Keiki Co. Ltd., Tokyo). Konsentrasi gas  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  dalam biogas diukur menggunakan TCD gas chromatography (KOR-2G; Gasukuro Kogyo Inc., Tokyo) memakai kolom (Porapak Q; Gasukuro Kogyo Inc., Tokyo).

## 3. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Hubungan konsentrasi NaCl dengan

Pertama-tama dibuat grafik hubungan antara konsentrasi NaCl dalam air limbah dengan nilai konduktifitasnya. Caranya yaitu dengan menambahkan garam NaCl dalam jumlah tertentu kedalam air limbah sampai diperoleh konsentrasi yang diinginkan, kemudian pada masing-masing konsentrasi tersebut diukur konduktifitasnya. Gambar 2 adalah grafik hubungan antara konsentrasi NaCl yang dibuat dengan konduktifitas hasil pengukuran yang dilakukan.

Selanjutnya, selama penelitian berlangsung, konsentrasi NaCl didalam effluen bioreaktor didapat dengan cara mengukur konduktifitas cairan tersebut, kemudian nilai konduktifitas yang diperoleh diplotkan pada grafik gambar 2, maka akan diketahui konsentrasi NaCl dalam

cairan effluen tersebut. Dari studi literatur diketahui bahwa konsentrasi garam NaCl dalam air limbah sebesar 20 g/l, menyebabkan produksi biogas turun secara drastis. Berdasarkan literatur tersebut, maka pada penelitian ini akan dilihat pengaruh garam NaCl pada konsentrasi 10, 20, 30 dan 40 g/l terhadap kestabilan proses.

### 3.2 Proses aklimatisasi

Setelah mikroba diaklimatisasi dengan limbah tanpa NaCl selama 2 minggu, proses aklimatisasi dilanjutkan dengan limbah sintetis yang mengandung NaCl. Selama masa aklimatisasi, konsentrasi NaCl didalam bioreaktor akan naik secara bertahap. Agar konduktifitas cairan dalam bioreaktor setelah 10 hari masa aklimatisasi sama dengan konduktifitas air limbah yang akan diuji yaitu konduktifitas NaCl pada konsentrasi NaCl 10, 20, 30 dan 40 g/l, maka jumlah NaCl yang harus ditambahkan kedalam air limbah umpan bioreaktor harus dihitung dengan persamaan berikut <sup>8)</sup> :

$$C_n = \{ (V - V_f / V) \}^n (C_o - C_i) + C_i \quad \dots\dots(1)$$

dimana:

V = volume kerja bioreaktor (ml)

V<sub>f</sub> = volume *draw-and-fill* (ml)

C<sub>n</sub> = konduktifitas cairan dalam bioreaktor setelah hari ke n (mS/cm)

C<sub>o</sub> = konduktifitas awal cairan dalam bioreaktor (mS/cm)

C<sub>i</sub> = konduktifitas air limbah umpan bioreaktor (mS/cm)

Dalam persamaan (1), kenaikan konduktifitas cairan dalam bioreaktor yang disebabkan oleh kenaikan konsentrasi asam-asam organik dapat diabaikan, karena dari hasil percobaan diketahui bahwa kenaikan ini sangat kecil, hanya 4 mS/cm pada konsentrasi asam-asam organik 8.000 mg/l.

Dengan menggunakan persamaan (1), dimana volume bioreaktor (V), 400 ml; volume *draw-and-fill* (V<sub>f</sub>), 20 ml (setara dengan beban organik 1 g/l/d); konduktifitas awal cairan dalam bioreaktor (C<sub>o</sub>), 18 mS/cm; konduktifitas cairan dalam masing-masing bioreaktor setelah hari ke 10 (C<sub>10</sub>) yaitu sama dengan konduktifitas larutan NaCl pada konsentrasi 10; 20; 30 dan 40 g/l, masing-masing 25; 40; 50 dan 60 mS/cm; maka akan didapatkan konduktifitas cairan umpan bioreaktor (C<sub>i</sub>) yaitu masing-masing sebesar 60; 75; 90 dan 120 mS/cm. Kemudian dengan menggunakan grafik pada gambar 2, maka akan diketahui jumlah garam NaCl yang harus ditambahkan kedalam limbah sintetis umpan bioreaktor, yaitu masing-masing 40; 60; 85 dan

140 g/l untuk reaktor 1, 2, 3 dan reaktor 4. Setelah 10 hari proses aklimatisasi dengan limbah sintetis mengandung NaCl, nilai konduktifitas cairan dalam bioreaktor mencapai nilai yang diinginkan yaitu 25; 40; 50 dan 60 mS/cm. Selanjutnya umpan bioreaktor diganti dengan limbah NaCl berkonsentrasi 10; 20; 30 dan 40 g/l. Gambar 3 adalah hasil pengamatan harian pada 4 buah bioreaktor tersebut. Selama masa aklimatisasi, konduktifitas dalam bioreaktor naik secara bertahap dan sampai pada nilai yang diinginkan setelah 10 hari proses aklimatisasi.

### 3.3 Pengaruh konsentrasi NaCl

Seperti terlihat pada gambar 3, setelah proses aklimatisasi selesai, konduktifitas cairan dalam bioreaktor tetap stabil pada konduktifitas masing-masing konsentrasi NaCl yang diteliti. Efisiensi pengurangan TOC pada umpan dengan konsentrasi NaCl 10 g/l (reaktor 1) sedikit naik sampai 93% pada hari ke 25. Kenaikan ini disebabkan karena penurunan konsentrasi asam-asam organik dalam bioreaktor, dimana seperti diketahui sebagian dari TOC adalah asam-asam organik. Asam-asam organik seperti asam laktat, asam asetat, asam propionat, asam butirat dan asam valeriat merupakan produk antara pada penguraian material organik kompleks menjadi biogas pada proses biologi anaerobik. Akumulasi asam-asam tersebut didalam bioreaktor akan menyebabkan kestabilan proses terganggu, bahkan lebih jauh dapat mengakibatkan kegagalan proses. Efisiensi pengurangan TOC dan konsentrasi asam-asam organik hampir tidak berubah pada konsentrasi NaCl 20 g/l (reaktor 2) yaitu masing-masing sekitar 90%, 3.000-3.500 mg/l dan hampir 85% didalam asam organik adalah asam asetat yang relatif mudah diuraikan menjadi biogas. Pada konsentrasi NaCl 30 g/l (reaktor 3), asam-asam organik naik secara gradual, kemudian stabil pada konsentrasi 5.700 mg/l. Sejalan dengan akumulasi asam-asam organik ini efisiensi pengurangan TOC juga menurun, namun kemudian stabil pada level sekitar 82% setelah hari ke 15. Tetapi hasil yang sangat kontras terlihat pada konsentrasi NaCl 40 g/l (reaktor 4), dimana efisiensi pengurangan TOC turun secara drastis yang menyebabkan kestabilan proses tidak dapat dipertahankan. Seperti terlihat pada gambar 3, kondisi ini disebabkan karena terjadi akumulasi asam-asam organik didalam bioreaktor, dimana konsentrasinya naik sampai 10.000 mg/l pada hari ke 15. Komponen utama asam organik disini adalah asam propionat 6.100 mg/l. Seperti diketahui, asam propionat sangat sukar diuraikan pada proses biologi anaerobik karena reaksi penguraiannya bersifat endotermis atau

memerlukan panas <sup>9)</sup>. Akumulasi asam propionat sering sekali menyebabkan gagalnya proses fermentasi metana. pH didalam bioreaktor dapat dipertahankan stabil diatas 7 pada konsentrasi NaCl sampai 30 g/l. Tetapi turun sampai dibawah 6 pada konsentrasi NaCl 40 g/l, disebabkan karena tingginya konsentrasi asam-asam organik dalam bioreaktor.

Sebagai perbandingan, Renzima dkk. <sup>10)</sup> melaporkan bahwa NaCl pada konsentrasi 14 g/l pada umpan bioreaktor mengakibatkan produksi biogas berhenti sama sekali karena akumulasi asam-asam organik. Sonoda dkk. <sup>11)</sup> juga melakukan penelitian yang sama menggunakan bioreaktor bervolume 50 ml dan melaporkan bahwa penambahan NaCl pada konsentrasi 20 g/l, produksi biogas berkurang sampai 80%. Penelitian-penelitian diatas mereka lakukan tanpa terlebih dulu melakukan proses aklimatisasi mikroba. Pada penelitian kali ini, konsentrasi NaCl maksimum yang dapat diolah mencapai 2 kali lebih besar bila dibanding dengan peneliti sebelumnya. Hal ini barangkali disebabkan karena sebelum penelitian dimulai, terlebih dulu dilakukan proses aklimatisasi mikroba.

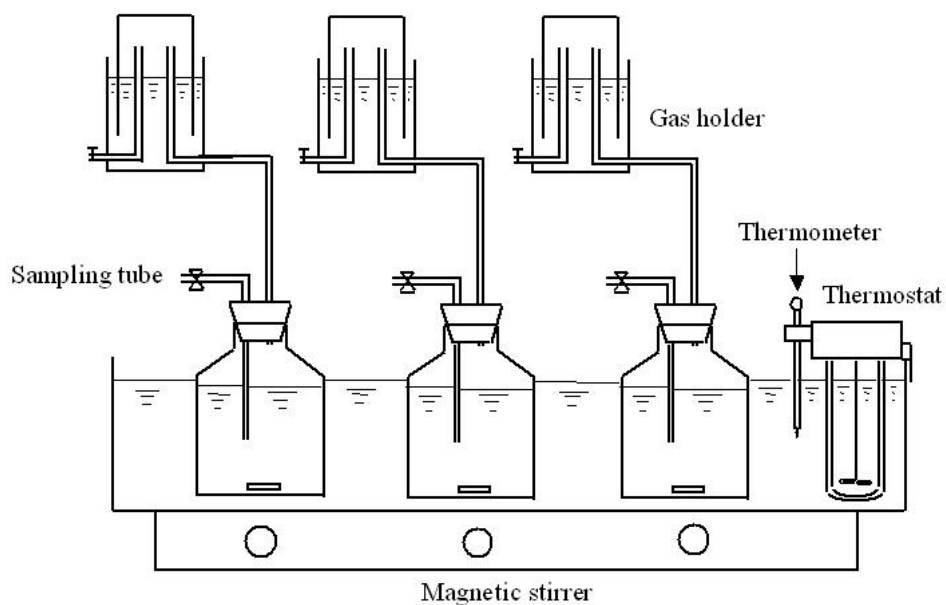
Gambar 4 menyajikan rangkuman hasil penelitian, memuat konsentrasi asam-asam organik, efisiensi pengurangan TOC, konsentrasi gas metana dan produksi biogas pada kondisi stabil tiap-tiap konsentrasi NaCl yang diteliti. Efisiensi pengurangan TOC dan produksi biogas berkurang sejalan dengan kenaikan konsentrasi NaCl dalam limbah sintetis. Produksi biogas pada konsentrasi NaCl 10; 20 dan 30 g/l masing-masing adalah 1,35; 1,10 dan 0,96 l/g-TOC umpan, atau 96; 83 dan 78% dari produksi biogas pada limbah sintetis tanpa penambahan NaCl (blank). Akumulasi asam-asam organik naik secara signifikan pada kenaikan konsentrasi NaCl. Kandungan gas metana dalam biogas hampir tidak berubah, selama penelitian berlangsung berkisar antara 45-50%.

#### 4. KESIMPULAN

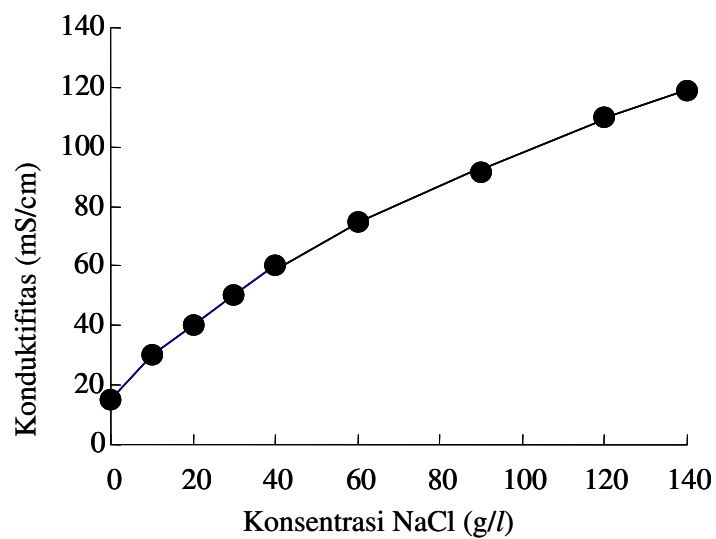
Dari pembahasan dan diskusi diatas dapat disimpulkan bahwa kenaikan konsentrasi NaCl dalam air limbah sampai 20 g/l tidak mempengaruhi aktifitas mikroba, dan pada konsentrasi NaCl 30 g/l terjadi sedikit penurunan efisiensi pengolahan. Akumulasi asam-asam organik di dalam bioreaktor pada konsentrasi 10.000 mg/l akan menyebabkan kegagalan proses pengolahan. Proses aklimatisasi mikroba sangat diperlukan karena dapat meningkatkan daya tahan dan aktifitas mikroba.

#### DAFTAR PUSTAKA

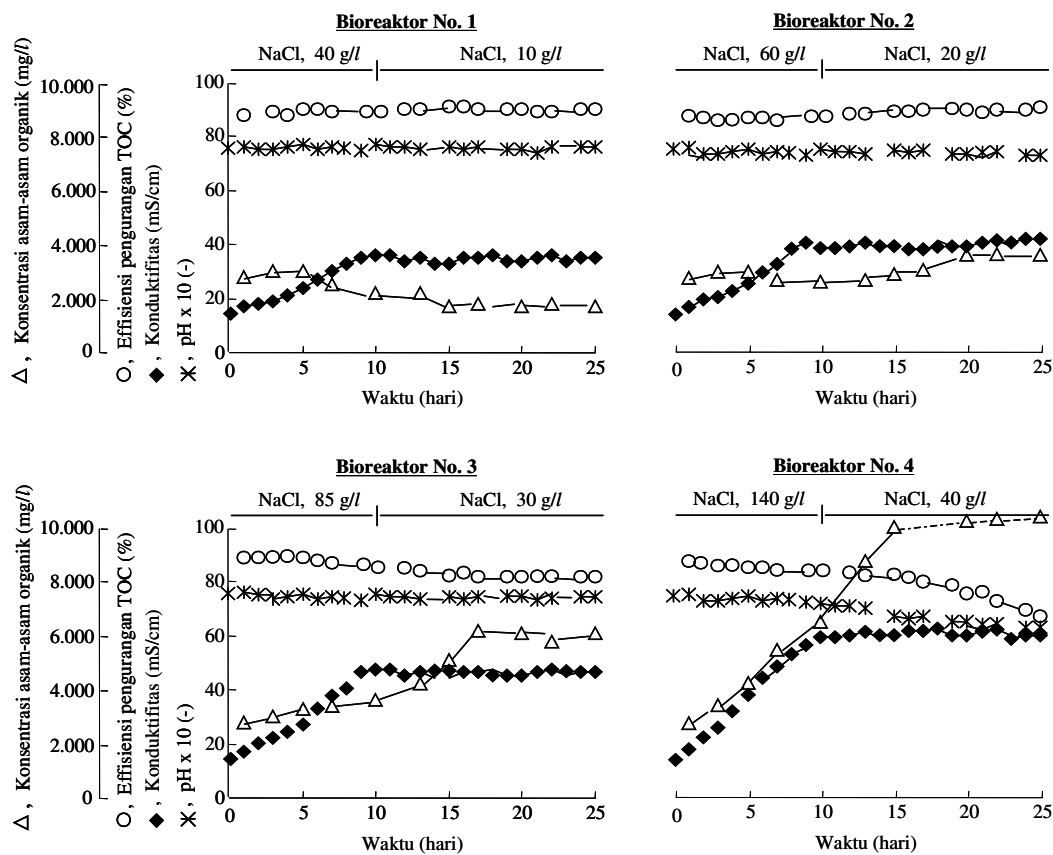
1. Mc Carty, P.L. : One hundred years of anaerobic treatment, Elsevier Biomedical Press B.V., Amsterdam (1982).
2. Kida, K., Ikbal, Sonoda, Y., Kawase, M., and Nomura, T.: Influent of mineral nutrients on high performance during anaerobic treatment of wastewater from beer brewery. J. Ferment. Bioeng. 72, 54-57(1991).
3. Kamagata, Y., Kitagawa, N., Tasaki, M., Nakamura, K., and Mikami, E.: Degradation of benzoate by an anaerobic consortium and same properties of a hydrogenotrophic methanogen and sulfate-reducing bacterium in the consortium. J. Ferment. Bioeng., 73, 213-218 (1992).
4. Fukuzaki, S., Nishio, N., Sakurai, H., and Nagai, S.: Characteristics of methanogenic granules grown on propionate in an UASB reactor. J. Ferment. Bioeng., 71, 50-57 (1991).
5. Wang, Y. T., Suida, M. T., and Rittman, B. E.: Anaerobic treatment of phenol by an expanded-bed reactor. J. WPCF, 58, 227-233 (1986).
6. Minami, K., Horiyama, T., Tasaki, M., and Tanimoto, Y.: Methane production using a bio-reactor packed with pumice stone on an evaporator condensate of a kraft pulp mill. J. Ferment. Technol., 64, 523-532 (1986).
7. Ikbal, Tang, Y., Fujimura, Y., Shigematsu, T., Morimura, S., and Kida, K.: The affecting factors for optimization of mesophilic acetoclastic methanogenesis. Japan J. Water Treat. Biol. 39, 189-197 (2003).
8. Tanemura, K., Kida, K., Ikbal, Matsumoto, J., and Sonoda, Y.: Anaerobic treatment of wastewater with high salt content from a picklet-plum manufacturing process. J. Ferment. Bioeng. 77, 188-193 (1994).
9. Kida, K., Morimura, S., and Sonoda, Y.: Accumulation of propionic acid during anaerobic treatment of distillery wastewater from barely-*shochu* making. J. Ferment. Bioeng., 75, 213-216 (1993).
10. Renzima, A., van Lier, J., and Lettinga, G.: Sodium inhibition of acetoclastic methanogens in granular sludge from a UASB reactor. Enzym Microb. Technol., 10, 24-32 (1988).
11. Sonoda, Y., and Seiko, Y.: Degradation and toxicity of various compounds in anaerobic digestion. Hakkokogaku, 55, 22-29 (1977).



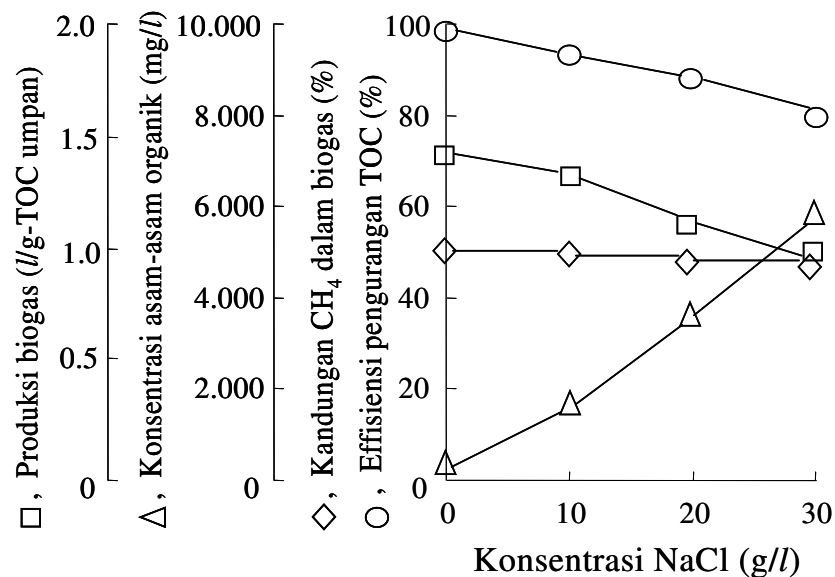
**Gambar 1. Rangkaian peralatan penelitian proses pengolahan biologi anaerobik**



**Gambar 2. Hubungan antara konsentrasi NaCl dengan konduktifitas**



**Gambar 3. Perubahan konduktifitas, pH, efisiensi pengurangan TOC dan konsentrasi asam-asam organik selama proses pengolahan biologi anaerobik**



**Gambar 4. Pengaruh konsentrasi NaCl terhadap efisiensi proses pengolahan biologi anaerobik**